

低 NO_x、燃料・水層状噴射システムの開発

Developments of Stratified Fuel-Water Injection System for Reducing NO_x

横浜製作所 宮野 弥明^{*1} 原 順一^{*2}
鈴木 元^{*3}
長崎研究所 永江 禎範^{*4}

ディーゼル機関の排出 NO_x を低減するために、燃料と水を層状に噴射するシステムを開発した。1991 年には、陸用中速 4 サイクル機関にて、また 1994 年には、船用低速 2 サイクル機関にて、それぞれ実機試験を実施し、NO_x は注水割合に比例して低減することを確認した。注水割合 $W/F=65\%$ では最大 $\Delta=70\%$ の NO_x 低減が得られた。実用初号機を 10 MW 発電プラントの中速 4 サイクル 16 KU 30 A 形×2 台用に受注した。

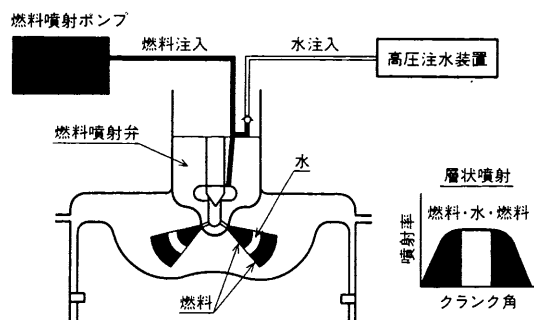
In order to reduce NO_x which is emitted from diesel engines, a system which injects fuel and water in a layered state has been developed. It was practically tested with the medium speed, 4-stroke land engine in 1991 and with the low speed, 2-stroke marine engine in 1994. It was verified that NO_x was reduced in proportion to the water/fuel ratio. One of the data shows the maximum reduction in NO_x as 70 % with the water/fuel ratio 65 %. The order with this application has been booked in the 10 MW power generating plant with two sets of medium speed 4-stroke engine 16 KU 30 A.

1. ま え が き

近年、ディーゼル機関の排ガス NO_x 規制が次第に厳しくなっており、これまで規制のなかった船用機関に対する規制の動きも表面化してきた。そのため、低減策として乳化油燃料、筒内水噴射、給気加湿などの技術開発が進められている。当社では 1990 年より燃料噴射弁の燃料通路に燃料噴射が行われていないタイミングに水を注入し、燃料と水を層状に噴射するシステムを開発、単筒機関の燃焼テストで大幅な NO_x の低減効果を確認した⁽¹⁾⁽²⁾。これに引続き、1991 年、実用化のための燃料・水層状噴射システムを開発、基礎試験及び陸用中速 4 サイクル機関 KU 30 A 形での実機試験を実施し、作動、性能面で良好な結果を得た。

さらに、船用として燃料・水層状噴射システムを大容量化し、1994 年春より運輸省及びシップ・アンド・オーシャン財団の御協力を得て運輸省航海訓練所との共同研究として、練習船銀河丸の主機低速 2 サイクル機関 UEC 52/105 D 形に搭載して 2000 h の実船試験を実施した。そして、本システムの機能、NO_x 低減効果、信頼性を確認した⁽³⁾。

以下に本システムの概要と各種の試験結果について紹介する。



- 火炎温度が高いほど NO_x 発生
- 燃焼過程で水を噴射、火炎温度を下げ、NO_x 発生を抑制

図1 噴射システムの概念 従来の噴射システムに注水装置を付加して、層状噴射を実現している。
Concept of SFWI

2. 燃料・水層状噴射システム

高圧ポンプにて加圧された作動油は、機関と同期して開閉する電磁弁を介して燃料噴射が行われていない時期（噴射と噴射の間）に注水ピストンを押して水を吐出する。吐出された水は、燃料弁のノズル内の逆止弁を通り、燃料噴射ポンプから燃料弁間の燃料を押し戻す形で燃料通路内に導入される。これにより、次の噴射では燃料と水が、燃料→水→燃料の順でほぼ層状を保ったまま筒内に噴射されることになる。このとき全噴射量が増えるので、燃料噴射ポンプのラックは注水量の分だけ増加する必要がある。

図1に、噴射システムの概念を示す。

3. システム構成

従来のディーゼルの燃料噴射系に注水装置を接続したもので、注水量が 30% レベルであれば、通常、機関本体の改造範囲としては燃料調整リンク、燃料噴射ポンプ、燃料弁及び関連配管等簡単な改造となる。

3.1 注水システム

注水システムは、注水ユニット、作動油及び高圧水ユニット、コントローラ、監視及び保護装置から成る。

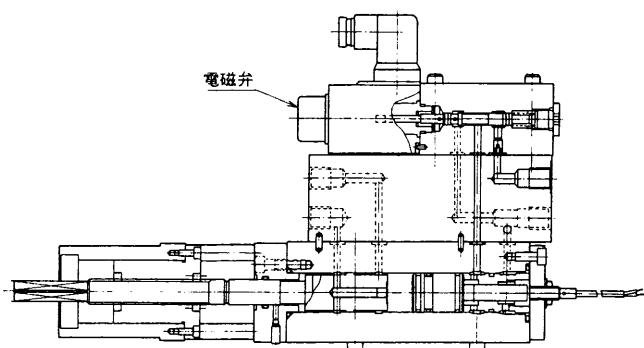


図2 注水器の構造 注水ピストン、シリンダ、弁座金物及び電磁弁にて構成された注水器を示す。
Water feeding unit

*1 原動機技術部グループ主査

*3 原動機技術部ディーゼル設計課

*2 原動機技術部ディーゼル設計課主務

*4 内燃機・油機研究推進室主務

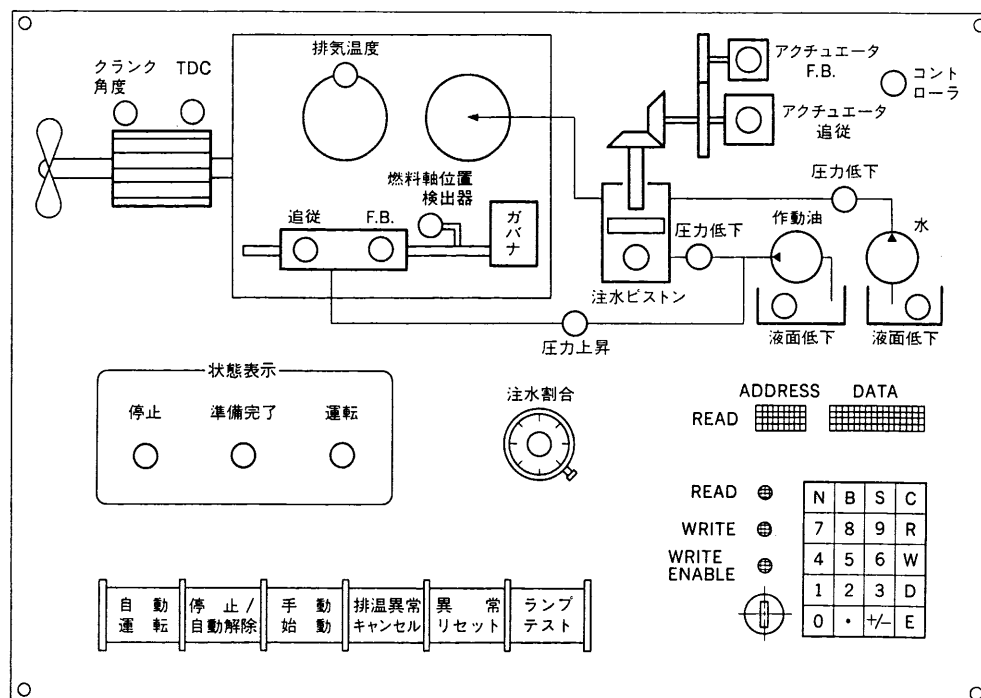


図3 監視ボード 6 UEC 52/105 D 形の噴射システムに適用した監視ボードを示す。
Monitoring panel

注水ユニット内には機関のシリンダ数と同数の注水器が配列される。アクチュエータが注水ピストンのストロークを一括して制御し、これにより注水量を制御する。図2に注水器の構造を示す。

注水器は、駆動側を油室に、吐出側を水室シリンダとして使用するため、ピストンにシールリングを設けている。

コントローラは注水ユニット、作動油及び高圧水ユニットの作動、注水量の制御及び異常状態の検知、処理を司る。注水ユニットの作動については、機関側から入力される TDC 信号、クランク角度信号をもとに注水タイミングを制御する。

注水量はコントローラ盤内に設置された注水割合〔(注水量/燃料噴射量)×100%で、以下 W/F と記す〕設定ダイヤルにより任意に変更できる。

3.2 コントローラのシーケンス

運転モードは自動と手動があり、コントローラ盤内の切換スイッチで切り換えることが可能である。原則として、機関の発停時は燃料のみの運転としている。

自動モードでは、設定されたポンプラックあるいは機関負荷に達すると注水器が作動し、以後、注水量は設定ダイヤルで指示した W/F に合うように負荷に応じて常時自動調整される。手動モードでは、始動/停止ボタンの操作だけで自由に注水を On/Off できる。

システム異常は、注水不能と入力信号の不具合の場合に区分している。注水不能になった場合は、異常検知後直ちに全筒注水電磁弁を停止し、注水を停止する。一方、入力信号の不具合時には通常停止と同様、徐々に注水を停止する。

図3に、監視ボードを示す。

4. 中速4サイクルディーゼルの試験結果

4.1 供給機関

機関 : 18 KU 30 A
出力×回転数 : 8 000 PS×750 rpm
ボア×ストローク : 300×380 mm

使用燃料 : A 重油

4.2 試験結果

図4に18 KU 30 A 形試験結果を示す。

いずれの負荷においても W/F が増すと筒内最高圧力 P_{max} が低下し、 NO_x もほぼ直線的に低減している。100% 負荷における NO_x は $W/F=50\%$ にて低減率 $\Delta=60\%$ 以上である。燃費は、100% 負荷時、 $W/F>40\%$ 以上では増加傾向があるが、 $W/F<40\%$ 以下では増加が少い。

$W/F=40\%$ において NO_x は半減され、燃費の増加はわずか1%にとどまっている。

また、吐煙濃度も $W/F=50\%$ まで改善が確認されている。

図5に、熱発生率の分析結果を示す。

W/F の増加とともに初期の熱発生が抑えられ、主燃焼が遅れ、燃焼期間 θ_b が長くなり、熱発生率のピークも小さくなり、 NO_x 低減を裏付けている。

5. 低速2サイクルディーゼルの試験結果

5.1 供給機関

機関 : 6 UEC 52/105 D
出力×回転数 : 6 200 PS×175 rpm
ボア×ストローク : 520×1 050 mm
使用燃料 : C 重油(粘度 180 cSt at 50 °C)及び A 重油
なお、試験では、水噴射有/無の差を判定するため、6 シリンダのうち、3 シリンダのみを水噴射している。

本試験はモーターボート競走公益資金による財団法人・日本船舶振興会の補助金を受けて、シップ・アンド・オーシャン財団と共同で実施した事業である。

5.2 試験結果

図6に機関回転数ベースの NO_x ($O_2=13\%$ 換算) 濃度特性を、図7に NO_x 実測例を示す。55% 負荷、143 rpm にて A/C 重油の切換えを実施し NO_x を実測した。水噴射の注水と同時に NO_x が減少している。また、低負荷(約 10% 負荷)における水

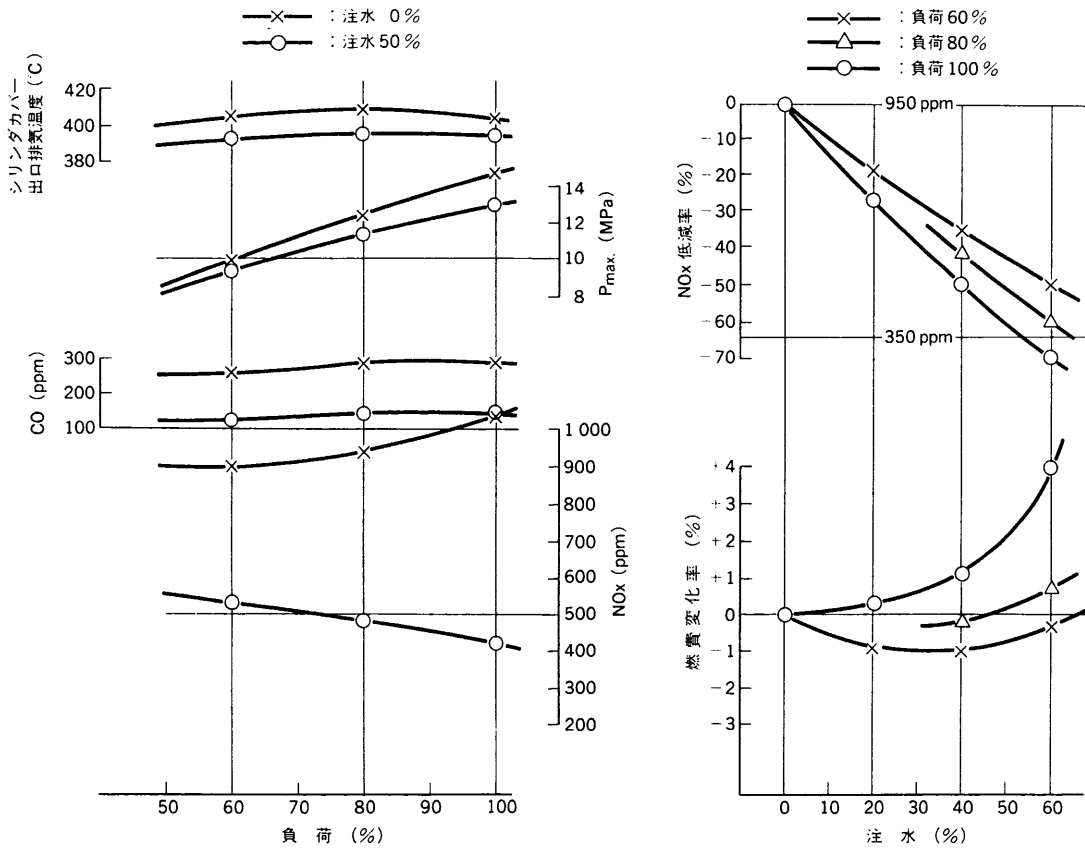


図4 18 KU 30 A 形試験結果 18 KU 30 A test results
機関性能の変化及び NOx 低減, 燃費変化率を示す。

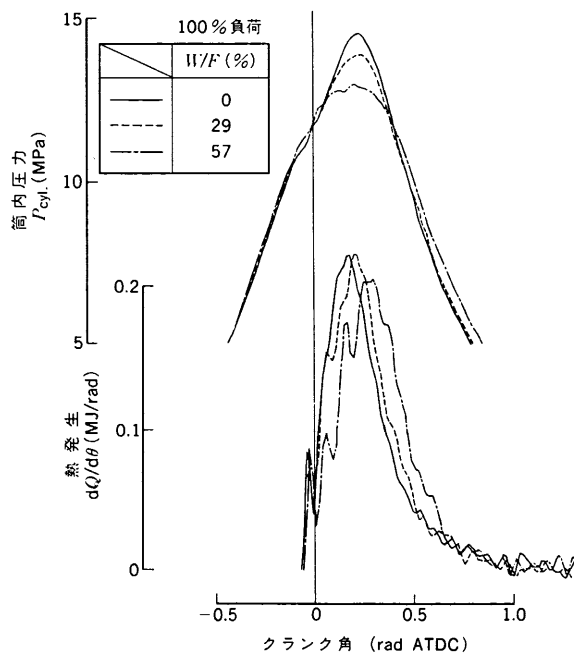


図5 熱発生の変化状況を示す。
Analysed heat release diagram

噴射にても、他の負荷と同程度の NOx 低減効果が得られることを確認した。

全般に W/F の増加に伴い NOx, シリンダ内最高圧力 P_{max} が低減し, 燃費, 排温が上昇する傾向が見られる。図示平均有効圧力 P_{mi} 及び燃料の種類により差はあるが $W/F=50\%$ にて NOx は $\Delta=50\sim65\%$ 低減し, 燃費は $2\sim5\%$ 増加している。排温

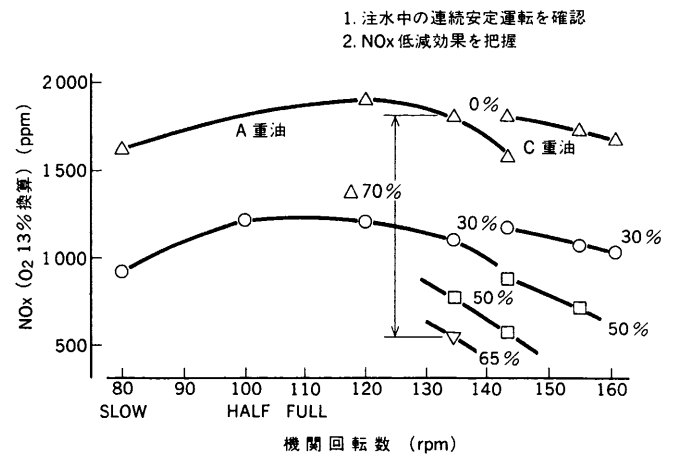


図6 機関回転数ベースの NOx 濃度特性 6 UEC 52/105 D 形の注水割合とそのときの NOx 低減状況を示す。
6 UEC 52/105 D Nox concentration

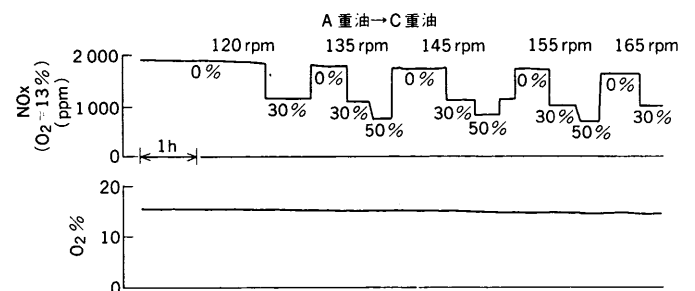


図7 NOx 実測例 注水割合を変えたときの NOx 低減状況と NOx が安定して低減されていることを示す。
NOx record

の上昇は、中速4サイクルとは逆傾向であるが、これは、主として供試2サイクルの P_{max} が低く、かつ P_{max} の低下率が大いことによるものと判定される。さらに、 $W/F=65\%$ では NO_x は $\Delta=70\%$ に低減した。

したがって、水噴射による P_{max} の低下をあらかじめ予測して、噴射タイミングを進めれば、更に性能を改善することができる。また、燃費の増加を最少とするには、注水を2層とする多層化が有効であり、燃焼試験では、燃費増加1.5%で NO_x 低減 $\Delta=50\%$ の見通しを得ている⁽²⁾。

水噴射試験中の NO_x は、 $W/F=30\%$ で900~1000 ppmの範囲にあり、極めて安定していた。

5.3 開放結果

水噴射運転後2000hにてシリンダを開放し、水噴射の影響を調査した。燃焼室構成部品であるシリンダライナ、カバー、ピストン、排気弁には、いずれも異常は見られなかった。過給機のタービンノズル及びブレードも水噴射の有無で特に差はなく良好であった。

6. ま と め

当社にて開発した層状噴射技術を基に、陸用及び舶用の燃料・水層状噴射システムを試作し、実用化を目指した実機試験を実施した。その結果、

- (1) 本システムは長時間使用においても安定した作動を維持し、所期性能を発揮することを確認できた。

- (2) NO_x は注水割合に比例して低減する。 $W/F=50\%$ にて NO_x は半減し、このとき燃費は2~5%増加する。ただし、燃費増加は、 P_{max} の最適化、注水の多層化で改善が可能である。さらに、注水割合 $W/F=65\%$ にて $\Delta=70\%$ の NO_x 低減を確認した。

- (3) 2000hでの開放調査では、水噴射による機関部品への影響は認められなかった。

本システムは、脱硝装置を使用することなく、ディーゼルの排出 NO_x を低減する画期的なものであり、現在、実用初号機として昭和アルミニウム(株)彦根工場向けの10MW発電プラント16KU30A形×2台に適用を決定し、1995年8月の稼働を予定している。

終わりに2サイクル機関の実船試験にて多大なる御協力をいただいた運輸省航海訓練所、練習船銀河丸、シップ・アンド・オーシャン財団の関係各位に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 土佐陽三ほか、燃料・水層状噴射によるディーゼル機関の低 NO_x 燃焼研究(第1報)日本機械学会講演論文集No.924-2(1992)706
- (2) 土佐陽三ほか 同上(第2報)、第10回内燃機関合同シンポジウム論文集(1992-7)
- (3) Miyano, H. et al., Development of stratified fuel-water injection system for Low- NO_x diesel combustion. CIMAC(1993)

開放特許・新案

逆 止 弁

特許 第1419520号

発明者 神戸造船所 永岡悦雄

流体の順行流時における圧力損失を軽減してポンプ等への負荷を小さくし、付属設備(ダンパ等)を設けなくても逆行流時に軽快に閉作動ができる逆止弁を提供することを目的とする。

図1に示すように対向した流入口と流出口を有する弁箱と、

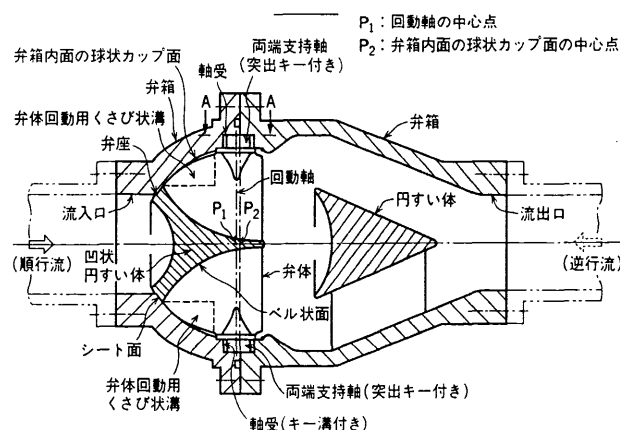


図1 縦断面図(閉そく時)

お問い合わせ先
三菱重工株式会社
技術本部特許契約部技術契約課
〒220-84 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号
☎ 横浜 (045) 224-9448
FAX 横浜 (045) 224-9908

該弁箱内で直径方向の回転軸により回転自在に配設された弁体とより成り、前記弁体に前記回転軸の中心部分の先端部から流路方向に伸びて広がるベル状面を有する凹状円すい体を設け、前記回転軸の中心に対して前記凹状円すい体により弁体の重心を拡大径側に偏心した位置とし、前記弁箱側のキー溝付き両軸受内に嵌装(かんそう)された前記回転軸の突出キー付き両端支持軸によって前記弁体に設けた前記拡大径側のシート面が前記弁箱側の弁座に対向したときに、前記キー溝内に前記突出キーが嵌合(かんごう)し(図2)前記弁体が前記弁座側へ動く軸受機構を設け、前記弁体の前記拡大径側の外周面部に弁体回転用のくさび状溝を偏心状態で配設した逆止弁。

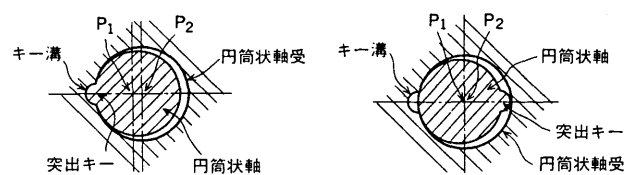


図2 A-A断面図(閉そく時)

図3 A-A断面図(順行流時)